

明 細 書

蓄電デバイス

技術分野

[0001] 本発明は、サイクル特性に優れた蓄電デバイスに関する。

背景技術

[0002] 正極活物質として、ニトロキシル高分子を利用する蓄電デバイスが提案されている。例えば、特許文献1の図1に記載されている従来の蓄電デバイスでは、ニトロキシル高分子を活物質とする正極を、セパレータを挟んで負極と対峙させて蓄電デバイスを構築している。

特許文献1:特開2002-304996号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0003] しかしながら、この特許文献1に開示された蓄電デバイスの負極として、リチウムもしくはリチウム合金負極を利用した蓄電デバイスには、充放電サイクルを繰り返すにつれて容量が大幅に減少していくという問題点がある。この原因は、蓄電デバイスの充電時に、リチウムもしくはリチウム合金負極表面において、リチウムがデンドライト状に析出し、放電に寄与できないデッドリチウムが生成してしまうことに起因する。本発明の目的は、負極活物質としてリチウムもしくはリチウム合金、正極活物質としてニトロキシル高分子を用いる蓄電デバイスにおいて、サイクル特性に優れた蓄電デバイスを提供することにある。

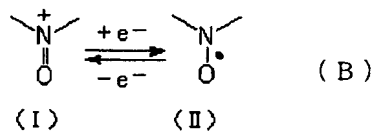
課題を解決するための手段

[0004] [発明の特徴]

本発明の蓄電デバイスは、酸化状態において下記化学式(I)で示されるニトロキシルカチオン部分構造をとり、還元状態において下記化学式(II)で示されるニトロキシルラジカル部分構造をとるニトロキシル高分子を正極中に含有し、その2つの状態間で電子の授受を行う下記反応式(B)で示される反応を正極の電極反応として用いる蓄電デバイスにおいて、負極活物質としてリチウムもしくはリチウム合金を利用し、か

つ、前記正極と前記負極とが直接接触していることを特徴としている。

[0005] [化1]



[0006] [作用]

リチウムもしくはリチウム合金負極と接したニトロキシル高分子が、リチウムもしくはリチウム合金負極表面で触媒効果を示すことにより、負極表面でのデンドライト成長が抑制され、蓄電デバイスのサイクル特性が向上する。

発明の効果

[0007] 本発明によれば、ニトロキシル高分子とリチウムもしくはリチウム合金負極表面とを直接接触させることによって、サイクル特性に優れた蓄電デバイスを提供することができる。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]第1の実施の形態に挙げた蓄電デバイスの構成を示す概観図である。

[図2]実施例1および比較例1で作製した蓄電デバイスのサイクル特性を示すグラフである。

符号の説明

- [0009] 1 負極用金属集電体
 2 絶縁パッキン
 3 リチウムもしくはリチウム合金負極
 4 ニトロキシル高分子を含む正極
 5 正極用集電体
 6 正極用金属集電体

発明を実施するための最良の形態

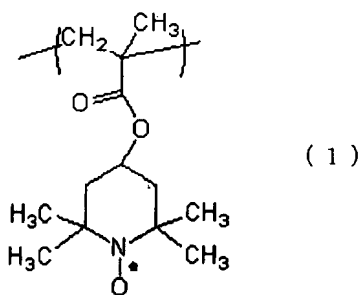
[0010] [構造]

次に、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

[0011] 図1を参照すると、本発明の第1の実施の形態として蓄電デバイスの概観図が示されている。

[0012] 本発明による蓄電デバイスは、例えば図1に示すような構成を有している。図1に示された蓄電デバイスはリチウムもしくはリチウム合金からなる負極3と、正極活物質として利用するニトロキシル高分子を含む正極4とが、直接接触していることを特徴としている。第1の実施の形態における蓄電デバイスはコイン型の形状を有している。第1の実施の形態において正極活物質として利用するニトロキシル高分子としては、下記化学式(1)で示されるポリ(2, 2, 6, 6-テトラメチルピペリジノキシ メタクリレート) (PTMA)を用いている。第1の実施の形態におけるニトロキシル高分子を含む正極4としては、電解液を含んだPTMA電極を利用している。第1の実施の形態における電解液としては、支持塩として1Mの LiPF_6 を含む、エチレンカーボネート(EC)およびジエチルカーボネート(DEC)の混合溶媒(混合体積比EC/DEC=3/7)を用いている。第1の実施の形態における正極用集電体5としては、炭素を主成分とする導電補助層をアルミニウム電極上に一体化形成したものを用いている。負極用金属集電体1および正極用金属集電体6としては、ステンレス製の金属集電体を用いている。絶縁パッキン2としては、ポリプロピレン製の絶縁パッキンを用いている。

[0013] [化2]



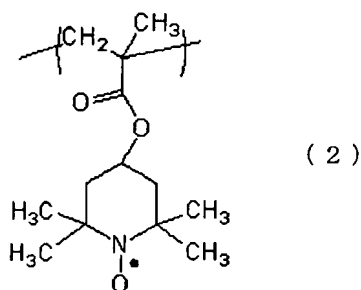
[0014] [製法]

次に図1を参照して、第1の実施の形態の製造方法を説明する。

[0015] 還流管を付けた100mlナスフラスコ中に、2, 2, 6, 6-テトラメチルピペリジン メタクリレート モノマー20g(0.089mol)を入れ、乾燥テトラヒドロフラン80mlに溶解さ

せた。そこへ、アゾビスイソブチロニトリル(AIBN)0.29g(0.00178mol)(モノマー／AIBN=50／1)を加え、アルゴン雰囲気下75～80℃で攪拌した。6時間反応後、室温まで放冷した。ヘキサン中でポリマーを析出させて濾別し、減圧乾燥してポリ(2,2,6,6-テトラメチルピペリジン メタクリレート)18g(収率90%)を得た。次に、得られたポリ(2,2,6,6-テトラメチルピペリジン メタクリレート)10gを乾燥ジクロロメタン100mlに溶解させた。ここへm-クロロ過安息香酸15.2g(0.088mol)のジクロロメタン溶液100mlを室温にて攪拌しながら1時間かけて滴下した。さらに6時間攪拌後、沈殿したm-クロロ安息香酸を濾別して除き、濾液を炭酸ナトリウム水溶液および水で洗浄後、ジクロロメタンを留去した。残った固形分を粉碎し、得られた粉末をジエチルカーボネート(DEC)で洗浄し、減圧下乾燥させて、下記化学式(2)で示されるポリ(2,2,6,6-テトラメチルピペリジノキシ メタクリレート)(PTMA)7.2gを得た(収率68.2%、茶褐色粉末)。得られた高分子の構造はIRで確認した。また、GPCにより測定した結果、重量平均分子量 $M_w=89000$ 、分散度 $M_w/M_n=3.30$ という値が得られた。ESRスペクトルにより求めたスピン濃度は 2.26×10^{21} spin/gであった。これはポリ(2,2,6,6-テトラメチルピペリジン メタクリレート)のN-H基が、N-Oラジカルへ90%転化されると仮定した場合のスピン濃度と一致する。

[0016] [化3]



[0017] 小型ホモジナイザ容器に純水20gを測り取り、テフロン(登録商標)粒子およびセルロースからなるバインダー272mgを加えて3分間攪拌し完全に溶解させた。そこにアセチレンブラック2.0gを加え、15分間攪拌してスラリーを得た。得られたスラリーを厚さ20ミクロンのアルミニウム板上に薄く塗布し、100℃で乾燥させて導電補助層を作製した。導電補助層の厚みは10ミクロンであった。このようにして、炭素を主成分とす

る導電補助層とアルミニウム板とが一体化された正極用集電体を得られた。

[0018] 次に小型ホモジナイザ容器にN-メチルピロリドン20gを測り取り、合成した化学式(2)のポリメタクリレート1.0gを加えて5分間攪拌し完全に溶解させた。得られた溶液を、炭素を主成分とする導電補助層とアルミニウム板とが一体化された正極用集電体上に薄く塗布し、125℃で乾燥させて電極を作製した。

[0019] 得られた電極板を、真空中80℃で一晩乾燥した後、直径12mmの円形に打ち抜ぬき、蓄電デバイス用電極として成型した。次に、得られた電極を電解液に浸して、ニトロキシル高分子を含む正極中に電解液を染み込ませて、正極用金属集電体上に置いた。電解液としては、1mol/lの LiPF_6 電解質塩を含むEC/DEC混合溶液を用いた。次に、電解液を含むニトロキシル高分子電極上に、負極となるリチウム金属板を直接積層し、絶縁パッキンで被覆された負極用金属集電体を重ね合わせた。こうして作られた積層体を、かしめ機によって圧力を加え、コイン型蓄電デバイスを得た。

[0020] [本発明の他の実施の形態]

上記第1の実施の形態において、コイン型であった蓄電デバイスの形状を、従来公知の形状にすることができる。蓄電デバイス形状の例としては、電極の積層体あるいは巻回体を、金属ケース、樹脂ケース、あるいはラミネートフィルム等によって封止したものが挙げられる。また外観としては、円筒型、角型、コイン型、およびシート型等が挙げられる。

[0021] 上記第1の実施の形態において、炭素を主成分とする導電補助層をアルミニウム電極上に一体化形成したものをを用いた正極用集電体を、従来公知の正極用集電体に置き換えることができる。従来公知の正極用集電体としては、カーボンペーパーやグラファイト電極等が挙げられる。特に、正極用集電体としてカーボンペーパーを用いた場合には、ニトロキシル高分子を含む正極と正極用集電体との接触面積を増やすことができるという観点から、出力特性の向上が期待できる。本発明におけるカーボンペーパーとは、繊維状炭素を集積化させて平たく伸ばした材料の総称であり、大きく分けて不織布構造のものと布状構造のものがある。カーボンペーパーの厚みは、一般に0.03〜0.50ミリメートル程度であるが、機械的強度を保つためには0.05ミ

リメートル以上であることが好ましい。しかしながら、蓄電デバイスのエネルギー密度を高めるといった観点から言えば、カーボンペーパーの厚みは薄い方がよく、0.25ミリメートル以下であることが好ましい。カーボンペーパーの空隙率は、一般に50～90%程度であるが、正極との接触面積を大きくすると言う観点から70%以上であることが好ましい。カーボンペーパーの室温における電気抵抗率は、蓄電デバイスの内部抵抗を小さくすると言う観点から、厚み方向で $300\text{m}\Omega\cdot\text{cm}$ 以下、面方向で $30\text{m}\Omega\cdot\text{cm}$ 以下であることが好ましい。

[0022] また、上記第1の実施の形態において、塗布形成された導電補助層を、蒸着法により形成された導電補助層で構成することができる。炭素材料を主成分とする導電補助層を蒸着法により形成した場合は、導電補助層をアルミニウム電極上に薄く塗布形成することができるので、蓄電デバイスのエネルギー密度を高めることができるという相乗的な効果を奏する。本発明における導電補助層とは、正極活物質であるニトロキシル高分子とアルミニウムとの電荷移動を補助するための層であり、炭素材料を主成分としている。本発明における主成分とは、層全体の重量に占める成分の重量が50%を越える成分であるという意味である。活性炭やグラファイト、カーボンブラック、ファーネスブラック、アモルファス炭素等が挙げられる。

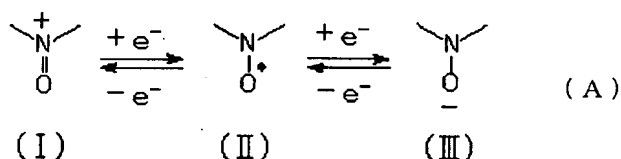
[0023] また、本発明において、上記のような正極用集電体を用いない構成とすることもできる。

[0024] 上記第1の実施の形態において、正極活物質であるPTMAを、従来公知のニトロキシル高分子で構成することができる。本発明におけるニトロキシル高分子とは、代表的構造として下記化学式(3)で示されるような、ニトロキシル構造を有する高分子化合物の総称であるが、ニトロキシル構造は、下記反応式(A)で示されるように、電子の授受により化学式(I)～(III)の状態を取りうる。

[0025] [化4]



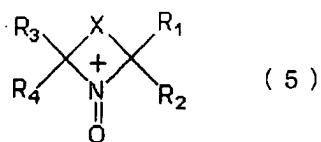
[0026] [化5]



[0027] 本発明における蓄電デバイスは、化学式(I)と(II)の間の反応を正極の電極反応として用い、それに伴う電子の蓄積と放出により蓄電効果を機能させるものである。ここで蓄電デバイスとは、少なくとも正極と負極を有し、電気化学的に蓄えられたエネルギーを電力の形で取り出すことのできるデバイスである。蓄電デバイスにおいて正極とは、酸化還元電位が高い電極のことであり、負極とは逆に酸化還元電位が低い方の電極のことである。

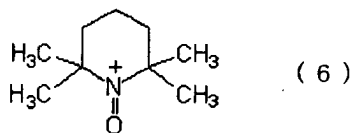
[0028] 本発明において、酸化状態におけるニトロキシル構造としては下記化学式(5)で示される環状ニトロキシル構造が好ましい。還元状態においては、化学式(5)のニトロキシル部分が式(II)のニトロキシラジカル構造となっている。 R_1 〜 R_4 は、それぞれ独立にアルキル基を表し、特に直鎖状のアルキル基が好ましい。また、ラジカルの安定性の点で炭素数は1〜4のアルキル基が好ましく、特にメチル基が好ましい。基Xにおいて環員を構成する原子は、炭素、酸素、窒素、および硫黄からなる群より選ばれる。基Xとしては化学式(5)が5〜7員環を形成するような2価の基を表し、具体的には、 $-\text{CH}_2\text{CH}_2-$ 、 $-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-$ 、 $-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-$ 、 $-\text{CH}=\text{CH}-$ 、 $-\text{CH}=\text{CHCH}_2-$ 、 $-\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}_2-$ 、 $-\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2-$ が挙げられ、その中で、隣接しない $-\text{CH}_2-$ は、 $-\text{O}-$ 、 $-\text{NH}-$ または $-\text{S}-$ によって置き換えられていてもよく、 $-\text{CH}=\text{}$ は $-\text{N}=\text{}$ によって置き換えられていてもよい。また、環を構成する原子に結合した水素原子は、アルキル基、ハロゲン原子、 $=\text{O}$ 等により置換されていてもよい。

[0029] [化6]

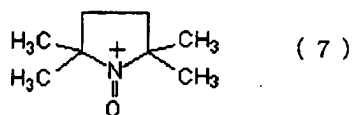


[0030] 特に好ましい環状ニトロキシル構造は酸化状態において、化学式(6)で示される2, 2, 6, 6-テトラメチルピペリジノキシルカチオン、化学式(7)で示される2, 2, 5, 5-テトラメチルピロリジノキシルカチオン、および化学式(8)で示される2, 2, 5, 5-テトラメチルピロリノキシルカチオンからなる群より選ばれるものである。

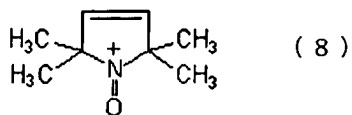
[0031] [化7]



[0032] [化8]



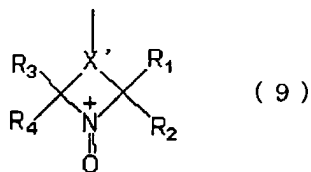
[0033] [化9]



[0034] ただし、本発明において、上記の化学式(5)で示される環状ニトロキシル構造は、側鎖もしくは主鎖の一部としてポリマーの一部を構成している。すなわち、環状構造を形成する元素に結合する少なくとも1つの水素を取った構造としてポリマーの側鎖

もしくは主鎖の一部に存在している。合成等の容易さから側鎖に存在している方が好ましい。側鎖に存在するときは、下記化学式(9)に示すように、化学式(5)の基X中の環員を構成する $-\text{CH}_2-$ 、 $-\text{CH}=-$ または $-\text{NH}-$ から水素を取った残基X'によって主鎖ポリマーに結合している。

[0035] [化10]



[0036] (式中、 $R_1 \sim R_4$ は前記化学式(5)と同義である。)

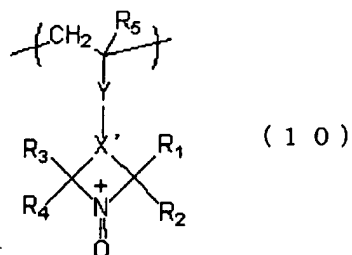
[0037] このとき用いられる主鎖ポリマーとしては特に制限はなく、どのようなものであっても、化学式(9)の環状ニトロキシル構造を有する残基が側鎖に存在していればよい。具体的には、次に挙げるポリマーに、化学式(9)の残基が付加したもの、またはポリマーの一部の原子または基が、化学式(9)の残基によって置換されたものを挙げることができる。いずれの場合も、化学式(9)の残基が直接ではなく、適当な2価の基を中間に介して結合していてもよい。例えば、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリブテン、ポリデセン、ポリドデセン、ポリヘプテン、ポリイソブテン、ポリオクタデセン等のポリアルキレン系ポリマー；ポリブタジエン、ポリクロロプレン、ポリイソプレン、ポリイソブテン等のジエン系ポリマー；ポリ(メタ)アクリル酸；ポリ(メタ)アクリロニトリル；ポリ(メタ)アクリルアミド、ポリメチル(メタ)アクリルアミド、ポリジメチル(メタ)アクリルアミド、ポリイソプロピル(メタ)アクリルアミド等のポリ(メタ)アクリルアミド類ポリマー；ポリメチル(メタ)アクリレート、ポリエチル(メタ)アクリレート、ポリブチル(メタ)アクリレート等のポリアルキル(メタ)アクリレート類；ポリフッ化ビニリデン、ポリテトラフルオロエチレン等のフッ素系ポリマー；ポリスチレン、ポリブロモスチレン、ポリクロロスチレン、ポリメチルスチレン等のポリスチレン系ポリマー；ポリビニルアセテート、ポリビニルアルコール、ポリ塩化ビニル、ポリビニルメチルエーテル、ポリビニルカルバゾール、ポリビニルピリジン、ポリビニルピロリドン等のビニル系ポリマー；ポリエチレンオキシサイド、ポリプロピレンオキシサイド、ポリブテンオキシサイド、ポリオキシメチレン、ポリアセトアルデヒド、ポリメチルビ

ニルエーテル、ポリプロピルビニルエーテル、ポリブチルビニルエーテル、ポリベンジルビニルエーテル等のポリエーテル系ポリマー；ポリメチレンスルフィド、ポリエチレンスルフィド、ポリエチレンジスルフィド、ポリプロピレンスルフィド、ポリフェニレンスルフィド、ポリエチレンテトラフルフィド、ポリエチレントリメチレンスルフィド等のポリスルフィド系ポリマー；ポリエチレンテレフタレート、ポリエチレンアジペート、ポリエチレンイソフタレート、ポリエチレンナフタレート、ポリエチレンパラフェニレンジアセテート、ポリエチレンイソプロピリデンジベンゾエート等のポリエステル類；ポリトリメチレンエチレンウレタン等のポリウレタン類；ポリエーテルケトン、ポリアリルエーテルケトン等のポリケトン系ポリマー；ポリオキシイソフタロイル等のポリ無水物系ポリマー；ポリエチレンアミン、ポリヘキサメチレンアミン、ポリエチレントリメチレンアミン等のポリアミン系ポリマー；ナイロン、ポリグリシン、ポリアラニン等のポリアミド系ポリマー；ポリアセチルイミノエチレン、ポリベンゾイルイミノエチレン等のポリイミン系ポリマー；ポリエステルイミド、ポリエーテルイミド、ポリベンズイミド、ポリピロメルイミド等のポリイミド系ポリマー；ポリアリレン、ポリアリレンアルキレン、ポリアリレンアルケニレン、ポリフェノール、フェノール樹脂、セルロース、ポリベンゾイミダゾール、ポリベンゾチアゾール、ポリベンゾキサジン、ポリベンゾキサゾール、オリカルボラン、ポリジベンゾフラン、ポリオキシソイソインドリン、ポリフランテトラカルボキシル酸ジイミド、ポリオキサジアゾール、ポリオキシンドール、ポリフタラジン、ポリフタライド、ポリシアヌレート、ポリイソシアヌレート、ポリピペラジン、ポリピペリジン、ポリピラジノキノキサネ、ポリピラゾール、ポリピリダジン、ポリピリジン、ポリピロメリチミン、ポリキノ、ポリピロリジン、ポリキノキサリン、ポリトリアジン、ポリトリアゾール等のポリアロマティック系ポリマー；ポリジシロキサン、ポリジメチルシロキサン等のシロキサン系ポリマー；ポリシラン系ポリマー；ポリシラザン系ポリマー；ポリホスファゼン系ポリマー；ポリチアジル系ポリマー；ポリアセチレン、ポリピロール、ポリアニリン等の共役系ポリマーを挙げることができる。なお、(メタ)アクリルとはメタクリルまたはアクリルを意味する。

- [0038] この中で、主鎖が電気化学的な耐性に優れている点で、ポリアルキレン系ポリマー、ポリ(メタ)アクリル酸、ポリ(メタ)アクリルアミド類ポリマー、ポリアルキル(メタ)アクリレート類、ポリスチレン系ポリマーが好ましい。主鎖とは、高分子化合物中で、最も炭素

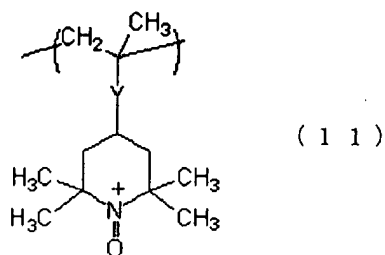
数の多い炭素鎖のことである。この中でも、酸化状態で下記化学式(10)で示される単位を含むことができるように、ポリマーが選ばれることが好ましい。

[0039] [化11]

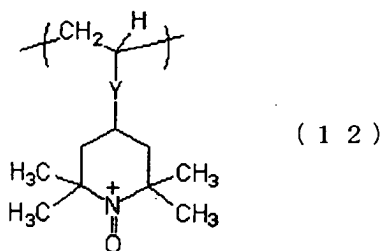


[0040] ここで、 R_1 ～ R_4 は前記化学式(5)と同義である。 R_5 は、水素またはメチル基である。 Y は特に限定はないが、 $-\text{CO}-$ 、 $-\text{COO}-$ 、 $-\text{CONR}_6-$ 、 $-\text{O}-$ 、 $-\text{S}-$ 、置換基を有していてもよい炭素数1～18のアルキレン基、置換基を有していてもよい炭素数1～18のアリーレン基、およびこれらの基の2つ以上を結合させた2価の基を挙げることができる。 R_6 は、炭素数1～18のアルキル基を表す。化学式(10)で表される単位で、特に好ましいものは、次の化学式(11)～(14)で表されるものである。

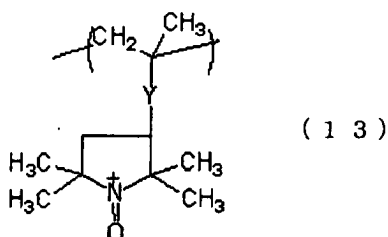
[0041] [化12]



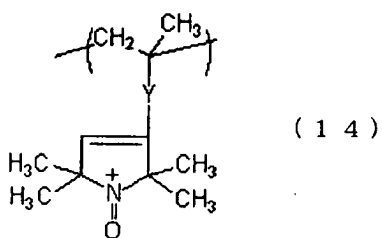
[0042] [化13]



[0043] [化14]



[0044] [化15]



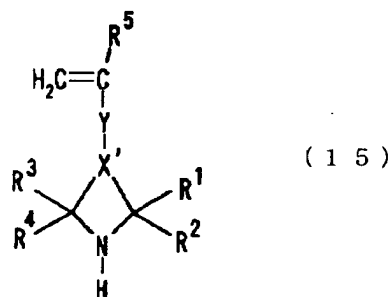
[0045] 化学式(11)～(14)において、Yとしては、上記化学式(10)と同義であるが、特に—COO—および—CONR₆—のいずれかが好ましい。

[0046] 本発明において、化学式(9)の残基が、側鎖のすべてに存在しなくても良い。例えばポリマーを構成する単位がすべてが化学式(10)で示される単位であっても、または一部が化学式(10)で示される単位であってもいずれでもよい。ポリマー中にどの程度含まれるかは、目的、ポリマーの構造、製造方法に異なるが、わずかでも存在していれば良く、通常1重量%以上、特に10重量%以上が好ましい。ポリマー合成に特に制限が無く、またできるだけ大きな蓄電作用を得たい場合には、50重量%以上。

、特に80重量%以上が好ましい。

[0047] このようなポリマーを合成するには、例えば下記化学式(15)で示されるモノマーを単独重合またはアルキルアクリレート等の共重合しうるモノマーとの共重合によりポリマーを得た後、 -NH- 部分を酸化することで、酸化状態において化学式(10)で示される単位を有するポリマーを得ることができる。

[0048] [化16]



[0049] また、例えば、メタクリル酸等を重合してベースとなるポリマーを合成した後に、高分子反応により化学式(9)で示される残基(あるいはNOラジカルに酸化される前の -NH- を有する残基)を導入しても良い。

[0050] 本発明におけるニトロキシル高分子の分子量は特に制限はないが、電解質に溶けないだけの分子量を有していることが好ましく、これは電解質中の有機溶媒の種類との組み合わせにより異なる。一般には、重量平均分子量1,000以上であり、好ましくは10,000以上、特に100,000以上である。本発明では、粉体として正極に混合することができるので、分子量はいくら大きくてもよい。一般的には重量平均分子量5,000,000以下である。また、化学式(9)で示される残基を含むポリマーは、架橋していてもよく、それにより電解質に対する耐久性を向上させることができる。

[0051] 本発明における正極中には、イオン導電性を高めるために、従来公知のポリマー電解質を添加しても良い。従来公知のポリマー電解質としては、ポリフッ化ビニリデン、フッ化ビニリデン-ヘキサフルオロプロピレン共重合体等のフッ化ビニリデン系重合体や、アクリロニトリル-メチルメタクリレート共重合体、アクリロニトリル-メチルアクリレート共重合体等のアクリルニトリル系重合体、さらにポリエチレンオキシドなどが挙

げられる。ただし、本発明では正極と負極とが直接接触するため、例えばアセチレンブラック等の従来公知の導電性付与剤は、正極中にあまり多く含まない方が好ましい。正極における導電性付与剤の含有量は50重量%以下が好ましく、40重量%以下がより好ましく、実質的に全く含まないことが最も好ましい。正極中には必要に応じて従来公知のバインダー等を含んでいても良い。

[0052] 上記第1の実施の形態において、リチウム金属を用いていた負極を、従来公知のリチウム合金負極に置き換えて蓄電デバイスを構成することができる。従来公知のリチウム合金負極としては、例えば、リチウム-アルミニウム合金、リチウム-スズ合金、リチウム-シリコン合金等が挙げられる。

[0053] 上記第1の実施の形態において、ステンレスを用いていた負極用金属集電体の材質を、従来公知の材質に置き換えて蓄電デバイスを構成することができる。従来公知の負極用金属集電体材質としては、例えば、ニッケルやアルミニウム、銅、金、銀、チタン、アルミニウム合金等の材質が挙げられる。また、形状としては、箔や平板、メッシュ状のものをを用いることができる。

[0054] 上記第1の実施の形態において、ステンレスを用いていた正極用金属集電体の材質を、従来公知の材質に置き換えて蓄電デバイスを構成することができる。従来公知の正極用金属集電体材質としては、例えば、ニッケルやアルミニウム、銅、金、銀、チタン、アルミニウム合金等の材質が挙げられる。また、形状としては、箔や平板、メッシュ状のものをを用いることができる。また、正極用集電体として、炭素を主成分とする導電補助層をアルミニウム電極上に一体化形成したものをを用いた場合、正極用金属集電体を用いずに、正極用集電体を使用したアルミニウムを正極用金属集電体の代わりに使用することもできる。

[0055] 上記第1の実施の形態において、 1mol/l の LiPF_6 電解質塩を含むEC/DEC混合溶液を使用していた電解質を、従来公知の電解質に置き換えて蓄電デバイスを構成することができる。電解質は、負極3と正極4との間の荷電担体輸送を行うものであり、一般には室温で 10^{-5} ~ 10^{-1}S/cm の電解質イオン伝導性を有している。従来公知の電解質としては、例えば電解質塩を溶剤に溶解した電解液を利用することができる。このような溶剤としては、例えばエチレンカーボネート、プロピレンカーボネート

、ジメチルカーボネート、ジエチルカーボネート、メチルエチルカーボネート、 γ -ブチロラクトン、テトラヒドロフラン、ジオキソラン、スルホラン、ジメチルホルムアミド、ジメチルアセトアミド、N-メチル-2-ピロリドン等の有機溶媒、もしくは硫酸水溶液や水などが挙げられる。本発明ではこれらの溶剤を単独もしくは2種類以上混合して用いることもできる。また、電解質塩としては、例えば LiPF_6 、 LiClO_4 、 LiBF_4 、 LiCF_3SO_3 、 $\text{LiN}(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2$ 、 $\text{LiN}(\text{C}_2\text{F}_5\text{SO}_2)_2$ 、 $\text{LiC}(\text{CF}_3\text{SO}_2)_3$ 、 $\text{LiC}(\text{C}_2\text{F}_5\text{SO}_2)_3$ 等が挙げられる。

- [0056] なお、本発明においては、正極と負極とが直接接する構成とするため、従来公知のセパレータは用いない。

実施例

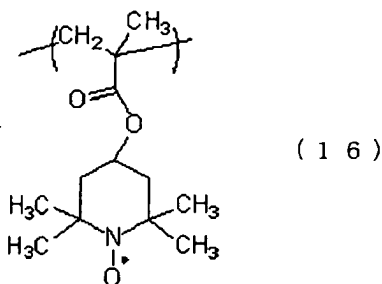
- [0057] 次に具体的な実施例を用いて、実施の形態の製造方法を説明する。

- [0058] <環状ニトロキシル構造含有ポリマーの合成例>

還流管を付けた100mlナスフラスコ中に、2, 2, 6, 6-テトラメチルピペリジン メタクリレート モノマー20g(0.089mol)を入れ、乾燥テトラヒドロフラン80mlに溶解させた。そこへ、アゾビスイソブチロニトリル(AIBN)0.29g(0.00178mol)(モノマー/AIBN=50/1)を加え、アルゴン雰囲気下75-80℃で攪拌した。6時間反応後、室温まで放冷した。ヘキサン中でポリマーを析出させて濾別し、減圧乾燥してポリ(2, 2, 6, 6-テトラメチルピペリジン メタクリレート)18g(収率90%)を得た。次に、得られたポリ(2, 2, 6, 6-テトラメチルピペリジン メタクリレート)10gを乾燥ジクロロメタン100mlに溶解させた。ここへm-クロロ過安息香酸15.2g(0.088mol)のジクロロメタン溶液100mlを室温にて攪拌しながら1時間かけて滴下した。さらに6時間攪拌後、沈殿したm-クロロ安息香酸を濾別して除き、濾液を炭酸ナトリウム水溶液および水で洗浄後、ジクロロメタンを留去した。残った固形分を粉碎し、得られた粉末をジエチルカーボネート(DEC)で洗浄し、減圧下乾燥させて、下記化学式(16)で示されるポリ(2, 2, 6, 6-テトラメチルピペリジノキシ メタクリレート)(PTMA)7.2gを得た(収率68.2%、茶褐色粉末)。得られた高分子の構造はIRで確認した。また、GPCにより測定した結果、重量平均分子量 $M_w=89000$ 、分散度 $M_w/M_n=3.30$ という値が得られた。ESRスペクトルにより求めたスピン濃度は 2.26×10^{21} spin/gであった。

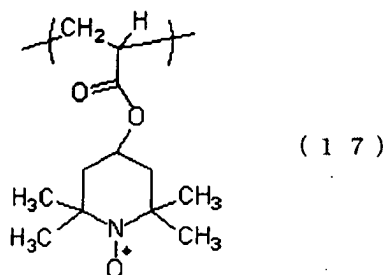
。これはポリ(2, 2, 6, 6-テトラメチルピペリジン メタクリレート)のN-H基が、N-Oラジカルへ90%転化されると仮定した場合のスピン濃度と一致する。

[0059] [化17]

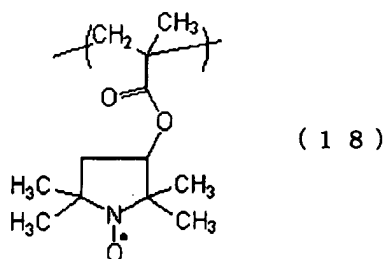


[0060] 同様の方法で、下記化学式(17)で示されるポリ(2, 2, 6, 6-テトラメチルピペリジノキシ アクリレート)[重量平均分子量 $M_w=74000$ 、分散度 $M_w/M_n=2.45$ 、スピン濃度: 2.23×10^{21} spin/g (N-H基がN-Oラジカルへ84%転化されると仮定した場合のスピン濃度と一致)]、化学式(18)で示されるポリ(2, 2, 5, 5-テトラメチルピロリジノキシ メタクリレート)[重量平均分子量 $M_w=52000$ 、分散度 $M_w/M_n=3.57$ 、スピン濃度: 1.96×10^{21} spin/g (N-H基がN-Oラジカルへ74%転化されると仮定した場合のスピン濃度と一致)]、化学式(19)で示されるポリ(2, 2, 5, 5-テトラメチルピロリノキシ メタクリレート)[重量平均分子量 $M_w=33000$ 、分散度 $M_w/M_n=4.01$ 、スピン濃度: 2.09×10^{21} spin/g (N-H基がN-Oラジカルへ78%転化されると仮定した場合のスピン濃度と一致)]を合成した。

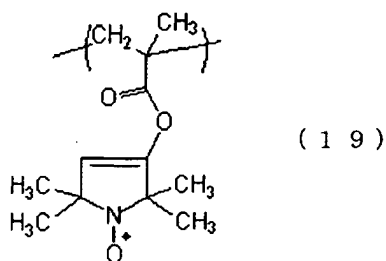
[0061] [化18]



[0062] [化19]



[0063] [化20]



[0064] <実施例1>

小型ホモジナイザ容器に純水20gを測り取り、テフロン(登録商標)粒子およびセルロースからなるバインダー272mgを加えて3分間攪拌し完全に溶解させた。そこにアセチレンブラック2.0gを加え、15分間攪拌してスラリーを得た。得られたスラリーを厚さ20ミクロンのアルミニウム板上に薄く塗布し、100℃で乾燥させて導電補助層を作製した。導電補助層の厚みは10ミクロンであった。このようにして、炭素を主成分とする導電補助層とアルミニウム板とが一体化された正極用集電体が得られた。

[0065] 次に、小型ホモジナイザ容器にN-メチルピロリドン20gを測り取り、合成した化学式(16)のポリメタクリレート1.0gを加えて5分間攪拌し完全に溶解させた。得られた溶液を、炭素を主成分とする導電補助層とアルミニウム板とが一体化された正極用集電体上に薄く塗布し、125℃で乾燥させて電極を作製した。電極の厚みは50ミクロンであった。

[0066] 得られた電極板を、真空中80℃で一晩乾燥した後、直径12mmの円形に打ち抜

ぬき、蓄電デバイス用電極として成型した。次に、得られた電極を電解液に浸して、ニトロキシル高分子を含む正極中に電解液を染み込ませて、正極用金属集電体(ステンレス板)上に置いた。電解液としては、 1mol/l の LiPF_6 電解質塩を含むEC/D EC混合溶液(混合体積比EC/DEC=3/7)を用いた。次に、電解液を含むニトロキシル高分子電極上に、負極となるリチウム金属板を直接積層し、絶縁パッキン(ポリプロピレン製)で被覆された負極用金属集電体(ステンレス板)を重ね合わせた。こうして作られた積層体を、かしめ機によって圧力を加え、コイン型蓄電デバイスを得た。

[0067] <実施例2>

小型ホモジナイザ容器にN-メチルピロリドン20gを測り取り、合成した化学式(17)のポリアクリレート1.0gを加えて5分間攪拌し完全に溶解させた。それ以降は、実施例1と同様の方法で実施し、コイン型蓄電デバイスを得た。

[0068] <実施例3>

小型ホモジナイザ容器にN-メチルピロリドン20gを測り取り、合成した化学式(18)のポリメタクリレート1.0gを加えて5分間攪拌し完全に溶解させた。それ以降は、実施例1と同様の方法で実施し、コイン型蓄電デバイスを得た。

[0069] <実施例4>

小型ホモジナイザ容器にN-メチルピロリドン20gを測り取り、合成した化学式(19)のポリメタクリレート1.0gを加えて5分間攪拌し完全に溶解させた。それ以降は、実施例1と同様の方法で実施し、コイン型蓄電デバイスを得た。

[0070] <実施例5>

負極としてリチウムスズ合金負極を使用する以外は、実施例1と同様の方法で実施し、コイン型蓄電デバイスを得た。

[0071] <実施例6>

負極としてリチウムシリコン合金負極を使用する以外は、実施例1と同様の方法で実施し、コイン型蓄電デバイスを得た。

[0072] <実施例7>

小型ホモジナイザ容器にN-メチルピロリドン20gを測り取り、合成した化学式(16)のポリメタクリレート1.0gを加えて5分間攪拌し完全に溶解させた。得られた溶液を、

厚み110ミクロンのカーボンペーパー(空隙率:80%、室温における電気抵抗率:80 $\text{m}\Omega\cdot\text{cm}$ (厚み方向)、6.3 $\text{m}\Omega\cdot\text{cm}$ (面方向))上に薄く塗布し、125℃で乾燥させて電極を作製した。電極の厚みは50ミクロンであった。それ以降は、実施例1と同様の方法で実施し、コイン型蓄電デバイスを得た。

[0073] <比較例1>

小型ホモジナイザ容器にN-メチルピロリドン20gを測り取り、合成した化学式(16)のポリメタクリレート1.0gを加えて5分間攪拌し完全に溶解させた。得られた溶液を、炭素を主成分とする導電補助層とアルミニウム板とが一体化された正極用集電体上に薄く塗布し、125℃で乾燥させて電極を作製した。電極の厚みは50ミクロンであった。

[0074] 得られた電極板を、真空中80℃で一晩乾燥した後、直径12mmの円形に打ち抜ぬき、蓄電デバイス用電極として成型した。次に、得られた電極を電解液に浸して、ニトロキシル高分子を含む正極中に電解液を染み込ませて、正極用金属集電体(ステンレス板)上に置いた。電解液としては、1mol/lの LiPF_6 電解質塩を含むEC/D EC混合溶液(混合体積比EC/DEC=3/7)を用いた。次に、電解液を含むニトロキシル高分子電極上に、同じく電解液を含浸させた多孔質フィルムセパレータ(ポリプロピレン製)を重ね、セパレータを挟んで負極となるリチウム金属板を積層し、絶縁パッキン(ポリプロピレン製)で被覆された負極用金属集電体(ステンレス板)を重ね合わせた。こうして作られた積層体を、かしめ機によって圧力を加え、コイン型蓄電デバイスを得た。

[0075] <比較例2>

小型ホモジナイザ容器にN-メチルピロリドン20gを測り取り、合成した化学式(17)のポリアクリレート1.0gを加えて5分間攪拌し完全に溶解させた。それ以降は、比較例1と同様の方法で実施し、コイン型蓄電デバイスを得た。

[0076] <比較例3>

小型ホモジナイザ容器にN-メチルピロリドン20gを測り取り、合成した化学式(18)のポリメタクリレート1.0gを加えて5分間攪拌し完全に溶解させた。それ以降は、比較例1と同様の方法で実施し、コイン型蓄電デバイスを得た。

[0077] <比較例4>

小型ホモジナイザ容器にN-メチルピロリドン20gを測り取り、合成した化学式(19)のポリメタクリレート1.0gを加えて5分間攪拌し完全に溶解させた。それ以降は、比較例1と同様の方法で実施し、コイン型蓄電デバイスを得た。

[0078] <比較例5>

負極としてリチウムスズ合金負極を使用する以外は、比較例1と同様の方法で実施し、コイン型蓄電デバイスを得た。

[0079] <比較例6>

負極としてリチウムシリコン合金負極を使用する以外は、比較例1と同様の方法で実施し、コイン型蓄電デバイスを得た。

[0080] <比較例7>

小型ホモジナイザ容器にN-メチルピロリドン20gを測り取り、合成した化学式(16)のポリメタクリレート1.0gを加えて5分間攪拌し完全に溶解させた。得られた溶液を、厚み110ミクロンのカーボンペーパー(空隙率:80%、室温における電気抵抗率:80 mΩ・cm(厚み方向)、6.3 mΩ・cm(面方向))上に薄く塗布し、125℃で乾燥させて電極を作製した。電極の厚みは50ミクロンであった。それ以降は、比較例1と同様の方法で実施し、コイン型蓄電デバイスを得た。

[0081] 本実施例1において作製した蓄電デバイスの開放電位は2.9Vであった。次に、得られた蓄電デバイスに対し、0.113mAの定電流で充電を行い、電圧が4.0Vまで上昇した時点で充電を終了した。充電後の蓄電デバイスを分解し、正極を分析するとラジカル濃度の減少が観測され、対応する2,2,6,6-テトラメチルピペリジノキシルカチオンの生成が確認された。このカチオンは電解質アニオンPF₆⁻によって安定化されている。

[0082] 同様にして蓄電デバイスを作製し、0.113mAの定電流で充電を行い、電圧が4.0Vまで上昇した直後に放電を行った。放電は、充電時と同じ0.113mAの定電流で行い、電圧が2.5Vに達した時点で放電を終了した。放電時において、3.4V付近に電圧平坦部が認められた。この電圧平坦部は、正極で起こっているニトロキシルカチオンからニトロキシルラジカルに変化する還元反応と、負極で起こっているリチウム

メタルのイオン化反応との間の電位差に相当することが分かった。すなわちこれは、本実施例1による蓄電デバイスが、化学電池として動作していることを示す結果である。本実施例1における平均放電電圧は、3.32Vであった。

[0083] 図2に実施例1および比較例1で作製した蓄電デバイスのサイクル特性を示す。図2では、初回の放電容量を100%として容量を表している。実施例1のように、ニトロキシル高分子とリチウム負極表面とが直接接触した蓄電デバイスの方が、比較例1のようにセパレータを介して積層させた蓄電デバイスより、サイクル特性に優れることが分かった。実施例2～7及び比較例2～7についても同様にサイクル特性を評価し、100サイクル後の容量維持率を表1にまとめて示した。

[0084] [表1]

	100サイクル後の 容量維持率 (%)		100サイクル後の 容量維持率 (%)
実施例1	93	比較例1	24
実施例2	88	比較例2	20
実施例3	81	比較例3	11
実施例4	85	比較例4	1
実施例5	60	比較例5	34
実施例6	58	比較例6	36
実施例7	76	比較例7	21

[0085] 同様にして実施例2～4と比較例2～4とを比較すると、化学式(17)～(19)のいずれの正極活物質においても、ニトロキシル高分子とリチウム負極とを直接接触させることにより、実施例1及び比較例1と同様の傾向が見られ、蓄電デバイスのサイクル特性が向上することが分かった。実施例5および6と比較例5および6とを比較すると、リチウムスズ合金負極およびリチウムシリコン合金負極を用いた場合でも、ニトロキシル高分子とリチウムもしくは負極とを直接接触させることにより、実施例1及び比較例1と同様の傾向が見られ、蓄電デバイスのサイクル特性が向上することが分かった。実施例7と比較例7とを比較すると、正極用集電体としてカーボンペーパーを用いた場合でも、実施例1及び比較例1と同様の傾向が見られ、ニトロキシル高分子とリチウム負極とを直接接触させることにより、蓄電デバイスのサイクル特性が向上すること

が分かった。

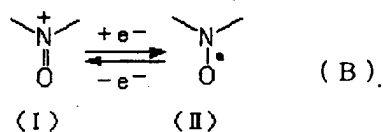
産業上の利用可能性

- [0086] 本発明による蓄電デバイスは、サイクル特性に優れるので、長寿命を必要とする蓄電デバイスとして利用することができる。本発明の活用例としては、従来、電気二重層キャパシタや鉛蓄電池、ニッケル水素電池、リチウムイオン二次電池等が用いられていた、パソコンやサーバーのバックアップ電源、電気自動車用の補助電源、携帯機器用電源等が挙げられる。

請求の範囲

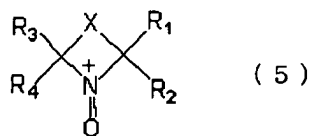
- [1] 酸化状態において下記化学式(I)で示されるニトロキシルカチオン部分構造をとり、還元状態において下記化学式(II)で示されるニトロキシルラジカル部分構造をとるニトロキシル高分子を正極中に含有し、その2つの状態間で電子の授受を行う下記反応式(B)で示される反応を正極の電極反応として用いる蓄電デバイスにおいて、負極活物質としてリチウムもしくはリチウム合金負極を利用し、かつ、前記正極と前記負極とが直接接していることを特徴とする蓄電デバイス。

[化1]



- [2] 前記負極活物質として、リチウムスズ系の合金もしくはリチウムシリコン系の合金を用いることを特徴とする請求項1記載の蓄電デバイス。
- [3] 正極用集電体として、炭素を主成分とする導電補助層をアルミニウム電極上に一体化形成した正極用集電体を用いることを特徴とする請求項1または2に記載の蓄電デバイス。
- [4] 正極用集電体として、カーボンペーパーを用いることを特徴とする請求項1または2に記載の蓄電デバイス。
- [5] 前記ニトロキシル高分子が、酸化状態において下記化学式(5)で示される環状ニトロキシル構造を含む高分子化合物であることを特徴とする請求項1〜4いずれかに記載の蓄電デバイス。

[化2]

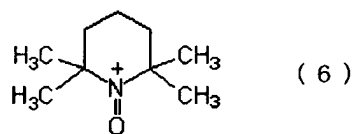


[化学式(5)中、 $\text{R}_1 \sim \text{R}_4$ はそれぞれ独立にアルキル基を表し、Xは化学式(5)が5〜

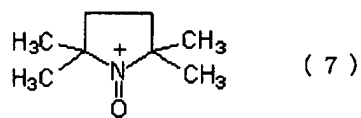
7員環を形成するような2価の基を表す。ただしXが、ポリマーの側鎖もしくは主鎖の一部を構成している。]

- [6] 前記ニトロキシル高分子は、酸化状態において、下記化学式(6)で示される2, 2, 6, 6-テトラメチルピペリジノキシルカチオン、下記化学式(7)で示される2, 2, 5, 5-テトラメチルピロリジノキシルカチオン、および下記化学式(8)で示される2, 2, 5, 5-テトラメチルピロリノキシルカチオンからなる群より選ばれる少なくとも一つの環状ニトロキシル構造の環状構造を形成する元素に結合する少なくとも1つの水素を取った残基を側鎖に含む高分子化合物であることを特徴とする請求項5記載の蓄電デバイス。

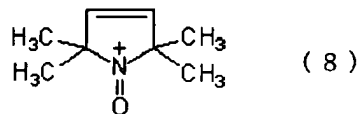
[化3]



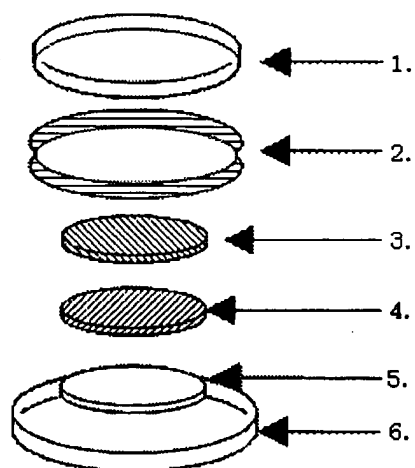
[化4]



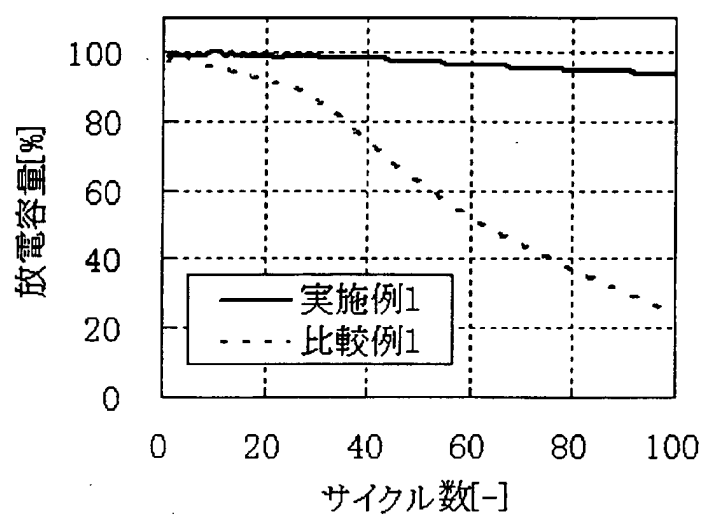
[化5]



[図1]



[図2]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/018908

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ H01M4/60, H01M4/40, H01M4/02, H01M10/40, H01M4/66, C08F20/34, H01G9/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H01M4/60, H01M4/40, H01M4/02, H01M10/40, H01M4/66, C08F20/34, H01G9/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2003-22809 A (NEC Corp.), 24 January, 2003 (24.01.03), Full text & US 2003/44681 A1	1-6
A	JP 2003-242980 A (NEC Corp.), 29 August, 2003 (29.08.03), Full text & WO 2003/69703 A1	1-6
A	JP 2002-304996 A (NEC Corp.), 18 October, 2002 (18.10.02), Full text & WO 2002/82570 A1 & EP 1381100 A1 & US 2004/115529 A1	1-6

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
14 February, 2005 (14.02.05)

Date of mailing of the international search report
01 March, 2005 (01.03.05)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/018908

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2002-117854 A (NEC Corp.), 19 April, 2002 (19.04.02), Full text (Family: none)	1-6
A	JP 2002-117855 A (NEC Corp.), 19 April, 2002 (19.04.02), Full text (Family: none)	1-6
A	JP 2002-170568 A (NEC Corp.), 14 June, 2002 (14.06.02), Full text (Family: none)	1-6

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01M4/60, H01M4/40, H01M4/02,
H01M10/40, H01M4/66, C08F20/34, H01G9/00

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01M4/60, H01M4/40, H01M4/02,
H01M10/40, H01M4/66, C08F20/34, H01G9/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
日本国公開実用新案公報 1971-2005年
日本国登録実用新案公報 1994-2005年
日本国実用新案登録公報 1996-2005年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2003-22809 A (日本電気株式会社), 2003.01.24, 全文 & US 2003/44681 A1	1-6
A	JP 2003-242980 A (日本電気株式会社), 2003.08.29, 全文 & WO 2003/69703 A1	1-6
A	JP 2002-304996 A (日本電気株式会社), 2002.10.18, 全文 & WO 2002/82570 A1 & EP 1381100 A1 & US 2004/115529 A1	1-6

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

14.02.2005

国際調査報告の発送日

01.3.2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

木村 孔一

4 X

3132

電話番号 03-3581-1101 内線 3477

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2002-117854 A (日本電気株式会社) , 2002. 04. 19, 全文 (ファミリーなし)	1-6
A	JP 2002-117855 A (日本電気株式会社) , 2002. 04. 19, 全文 (ファミリーなし)	1-6
A	JP 2002-170568 A (日本電気株式会社) , 2002. 06. 14, 全文 (ファミリーなし)	1-6